UNIVERSITE JOSEPH FOURIER SCIENCES. TECHNOLOGIE. MEDECINE

Réseaux & Télécommunications GRENOBLE

institut universitaire de technologie 1 GRENOBLE 1

RESEAUX & TELECOMMUNICATIONS

TP7 Echantillonnage & Numérisation

Cycle S1 / Module M1108

RT1A

2014-15

1 But du TP

L'objectif de ce TP est de détailler les étapes nécessaires à la numérisation d'un signal et les conséquences induites dans le domaine spectral de la quantification.
Ce TP doit également mettre en évidence l'intérêt principal des signaux numériques c'est à dire leur immunité aux bruits.

2 Matériel

- 1 oscilloscope numérique FLUKE
- 1 haut-parleur amplifié
- Un générateur HP 33120A
- 2 nappes DB9-DB9 (F-F)
- 1 maquette « CAN »
- 1 maquette « Afficheurs »
- 1 maquette « Tension continue »
- 1 maquette « ECH » (Echantillonneur)
- 1 maquette « Filtre Passe-Bas »
- 1 cordon Jack(M) – Bananes
- 1 cordon Jack(F) – Bananes
- 1 Té + bouchon 50 Ω
- 1 capacité de 1 µF
- 1 maquette « CNA »
- 1 maquette « 8 interrupteurs »
- 1 capacité de 1 µF
- 1 maquette "éclateur b2-b4-b7"
- 2 maquette "Sommateur"

3 Préparation :

3.1 Echantillonnage

Soit une tension électrique sinusoïdale $s(t)$ d'amplitude 1 V et de fréquence F_s= 1 kHz

- Rappeler l'allure de son spectre .

Cette sinusoïde est échantillonné à une fréquence cinq fois plus grande soit Fe = 5 kHz

- Donner l'allure de son spectre entre 0 et 5 kHz

3.2 Numérisation

- Rappeler l'expression du quantum ΔV de tension d'un convertisseur A/N de n bits avec une dynamique de tension variant entre -Vmax et +Vmax.
  Faire l'application numérique dans le cas où n = 8 et Vmax= 3 V
- Estimer alors la puissance normalisée du bruit de quantification P_B
  On rappelle que : $P_B = V^2_{BEFF} = q^2/12$
- En déduire sa puissance électrique (charge de 50Ω) P_{BE}
  En déduire sa puissance en dBm P_{BdBm}

4 Echantillonnage

Utiliser obligatoirement l'oscilloscope Fluke et non l'oscilloscope Tektronix.

4.1 Signal analogique originale

4.1.1 Relevé temporelle (Chronogramme)

Régler un générateur pour qu'il délivre une tension sinusoïdale de fréquence 1 kHz et d'amplitude 0.5V (1VPP)
On veut visualiser la tension sur l'oscilloscope avec une fenêtre d'observation temporelle de largeur imposée :

- Calculer la vitesse de balayage Tb (en ms/carreaux) permettant de voir environ 5 périodes du signal sur l'écran
- Relever la courbe ainsi obtenue.

4.1.2 Relevé fréquentiel (Spectre)

On veut visualiser le spectre de cette tension sur l'oscilloscope avec une fenêtre d'observation fréquentielle de largeur imposée.
Remarque préliminaire :

Les oscilloscopes numériques permettent de calculer et visualiser la transformée de Fourier d'un signal électrique avec une fréquence d'échantillonnage Fe qui dépend directement de la base de temps **Tb** et du nombre de points/ div N (**N** = 50 points/div sur un oscilloscope Fluke) :

$$Fe = \frac{N}{Tb} = \frac{50}{Tb}$$

La fenêtre d'observation fréquentielle est comme d'habitude Fobs = Fe/2 soit donc

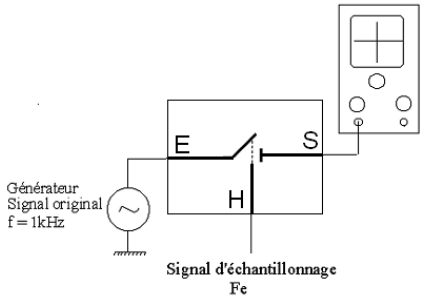
$$Fobs = \frac{Fe}{2} = \frac{N}{2 \times Tb} = \frac{25}{Tb}$$

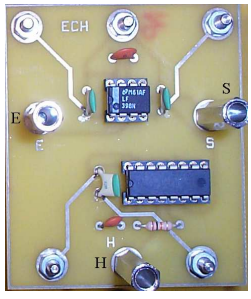
- Calculer la vitesse de balayage Tb (en ms/carreaux) permettant d'avoir une fenêtre d'observation de 2,5 kHz. Régler ainsi la base de temps de l'oscilloscope.
- Relever alors le spectre du signal analogique original en pointant, à l'aide d'un curseur, la raie fondamentale.

4.2 Signal échantillonné

4.2.1 Relevé temporelle (Chronogramme)

Le signal d'échantillonnage sera délivré par la **sortie TTL** d'un deuxième générateur à la fréquence Fe égale à 10 kHz
Installer sur la plaquette de travail (alimentée par 5, -12 et +12V) la fonction « ECH ».
Appliquer le signal sinusoïdal original à 1 kHZ (générateur 1) sur son entrée E
Appliquer le signal d'échantillonnage à 10 kHz (générateur 2 / TTL) sur son entrée H
Le signal échantillonné sort en S.





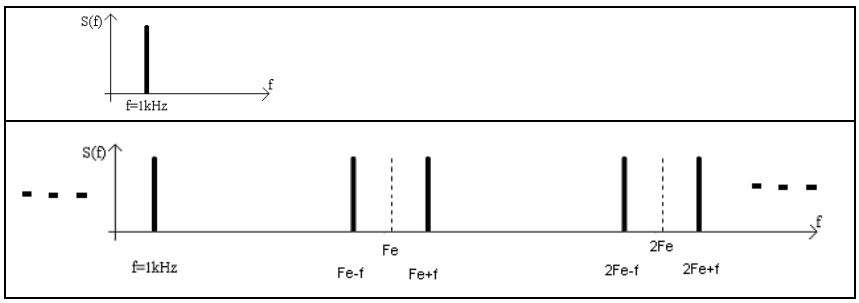
- Relever simultanément le signal original et le signal échantillonné (Tb = 500µs)

4.2.2 Relevé fréquentiel (Spectre)

Rappels théoriques

Le spectre d'un signal analogique original de 1 kHz a l'allure ci-contre :

Le spectre du même signal maintenant échantillonné avec une fréquence d'échantillonnage
F_E = 10 kHz a l'allure ci-contre :

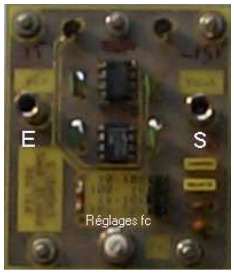


On veut visualiser ces spectres. Choisir Tb = 1ms.

- Relever d'abord le spectre du signal de départ en pointant avec un curseur la raie correspondante.
- Relever ensuite le spectre du signal échantillonné en incrustant (avec Paint) la valeur des fréquences de toutes les raies significatives obtenues.

4.3 Filtre de restitution

Le filtre de restitution est un filtre passe-bas qui permet de "couper" les composantes du spectre au delà de $F_{ECH}/2$ pour "lisser" le signal échantillonné afin de retrouver le signal original de départ.
D'après Shannon, une fréquence d'échantillonnage F_E, permet d'échantillonner correctement que des signaux de fréquence inférieure à $F_E/2$. En conséquence il est usuel de régler la fréquence de coupure du filtre de restitution à $F_E/2$.
Puisque F_{ECH} = 10kHz, il faut régler sa fréquence de coupure à F_c = 5 kHz.



Réglage du filtre de restitution

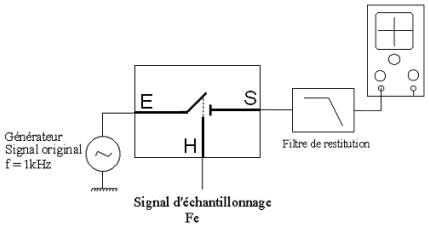
Ce filtre est conçu à partir d'un filtre à capacités commutées MF6, ses caractéristiques sont les suivantes :

- Ordre 6
- fréquence de coupure réglable entre 10 Hz et 50 kHz par switch et potentiomètre

✓ Suivre la procédure suivante afin de régler à 5 kHz sa fréquence de coupure à –3 dB :Installer le filtre sur la platine. Positionner les switchs pour une telle fréquence de coupure.
✓ Appliquer sur l'entrée Vin le signal sinusoïdal à 1 kHz, il doit-être dans la bande passante du filtre
✓ Appliquer la tension en sortie du filtre sur l'entrée du millivoltmètre AC.
Régler sa sensibilité pour que l'aiguille soit dans le dernier tiers de l'écran.
Repérer sur l'échelle en dB (rouge) le niveau de tension soit X_{dB}
✓ Régler la fréquence du signal sinusoïdal à 5 kHz, fréquence de coupure désirée.
Le niveau de tension en sortie doit baisser en dessous de X_{dB} (nous sommes sortis de la bande passante du filtre)
✓ Régler le filtre afin que la chute de tension soit de 3 dB (soit $X_{dB} - 3$)
Le filtre est alors réglé avec une fréquence de coupure de –3dB à 5 kHz.
Ne plus toucher à ce réglage

Installer le filtre de restitution en aval de l'échantillonneur :

- Relever simultanément le signal original à 1 kHz et le signal ainsi restitué (Tb = 500µs)
- Relever (avec Tb = 1ms) le spectre du signal lissé en sortie du filtre en pointant la raie fondamentale. Retrouve t'on exactement le spectre du signal original ?
- Comparer ce spectre avec celui du signal échantillonné. Que fait le filtre ?



4.4 Repliement de spectre

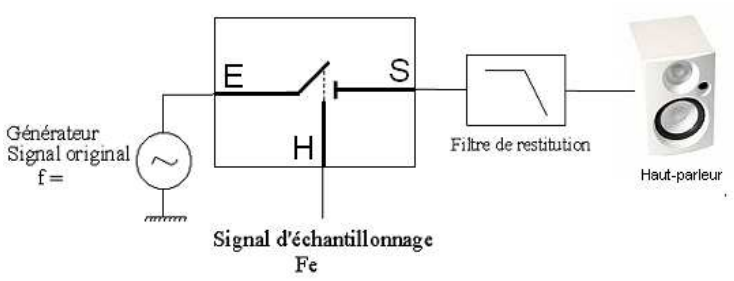
Il y a repliement de spectre dés lors que l'on dépasse la règle fatidique de Shannon :f > $F_E/2$.
Garder sur la plaquette le même montage.
Toujours avec la même fenêtre d'observation (Tb = 1 ms), observer le spectre du signal échantillonné avec la fréquence d'échantillonnage de10 kHz.
Augmenter la fréquence du signal original (générateur 1).

- Que se passe-t'il ?
  A quelle fréquence il y a chevauchement des 2 raies ? C'est la fréquence au delà de laquelle il y a repliement du spectre.

Régler la fréquence du signal original à f = 8 kHz.

- Relever le spectre du signal échantillonné. Pointer la fréquence entre 0 et $F_E/2$.
  C'est la fréquence due au repliement du spectre (alias Frequency)
- Justifier sa valeur.

Le filtre de restitution va « ressortir » cette alias Frequency à la place de la fréquence originale (erreur de repliement de spectre). On peut l'illustrer ainsi :

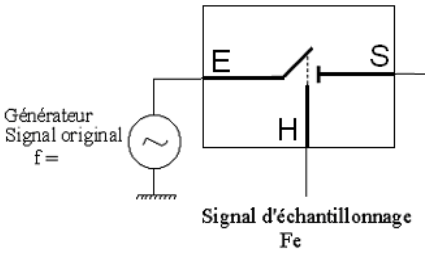


Appliquer la sortie du signal de restitution, sur l'entrée du haut-parleur amplifié par l'intermédiaire du cordon Jack-Bananes
A partir de 1 kHz monter la fréquence (générateur 1) et écouter le signal sonore.

- La tonalité sonore doit monter en fréquence jusqu'à une limite.
  A partir de quelle fréquence la tonalité sonore baisse en fréquence ?
- Comment empêcher l'erreur due au repliement de spectre ?

4.5 Etude temporelle de l'échantillonnage d'un signal sinusoïdal

Appliquer sur l'entrée E un signal sinusoïdal d'amplitude crête à crête égale à 2 V (Consigne VPP=1V) et de fréquence 440 Hz.
Echantillonner-le à 10 kHz.
Observer à l'oscilloscope les allures temporelles du signal original E = Ve(t) et du signal échantillonné
S = Ve*(t) avec la même échelle et la même référence de tension.



- Mesurer la valeur du temps pour lequel *S* reste constant (palier). Cette valeur était-elle prévisible ? Justifier votre réponse.
- Relever la copie d'écran vous ayant permis de faire cette mesure.

Erreur due à l'échantillonnage

Augmenter la fréquence du signal original $V_e(t)$ à 1 kHz
L'opération d'échantillonnage introduit une erreur. Il est possible de visualiser cette erreur en superposant simultanément les allures temporelles du signal original E = $V_e(t)$ (ch 1) et du signal échantillonné S = $V_e^*(t)$ (ch 2) (même échelle et la même référence de tension) et en configurant l'oscilloscope pour qu'il observe CH1+CH2 avec inversion du signal CH2.

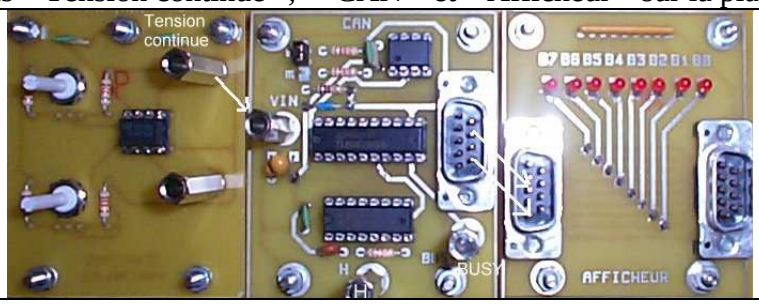
- Relever l'allure temporelles de l'erreur : $V_e(t) - V_e^*(t)$.
  Quelle est l'amplitude crête à crête maximale de cette erreur.
- Que devient cette erreur si la fréquence d'échantillonnage passe à 100 kHz ?

Conseil : Pour simplifier ces mesures, il est conseillé d'utiliser temporairement la fonction « Average » du menu « Acquire » avec 128 échantillons.

5 Numérisation :

5.1 Conversion Analogique Numérique (CAN)

Enficher les 3 fonctions « Tension continue », « CAN » et « Afficheur » sur la platine.

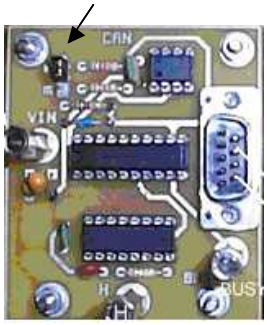


Relier la tension continue variable à l'entrée V_{IN} du convertisseur analogique numérique (CAN).
La valeur numérique N_S sur 8 bits en sortie du « CAN » sera visualisée par la fonction « Afficheur », en reliant les deux fonctions par une nappe DB9-DB9.
La conversion (Start Of Conversion) est déclenchée par le signal d'horloge H.
Relier l'entrée H du CAN au signal de synchronisation TTL (Trig Out) d'un des générateurs de fonction.
La fréquence est réglée à 8,3 kHz (les signaux en téléphonie sont échantillonnés approximativement à cette fréquence)
La sortie BUSY indique qu'une conversion est en cours.
Le convertisseur CAN peut fonctionner suivant deux modes :

- la conversion peut-être unipolaire (Vin positive)
- ou bipolaire (Vin pouvant être positive ou négative)

Le mode choisi est déterminé par la position « ***s*** ou ***b*** » et « ***m*** ou ***u*** » d'un cavalier (voir photographie ci-dessous)

choix du mode de conversion



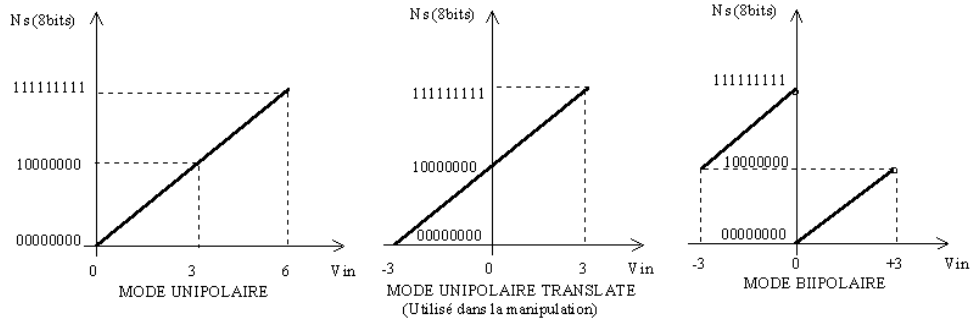
5.1.1 Etude statique du CAN Bipolaire (mode "s" ou " b")

Placer le cavalier sur la position « s »

- Mesurer dans le cas où la tension V_{IN} = 0 V le nombre N_S (codée en décimale) converti.
- Mesurer la fonction de transfert N_S = f(V_{IN}) pour V_{IN} variant de –3,5 V à +3,5 V (par pas de 0,5 V). Relever le tableau de mesure
- Tracer cette fonction avec le logiciel EXCEL .

Conseil :
Pour tracer automatiquement une telle courbe vous pouvez utiliser EXCEL.
Le mode d'emploi est sur l'intranet de la salle : http://www.t14
Rubrique : Aides Techniques / Savoir faire sur le PC /Comment Tracer une courbe y(x) avec EXCEL ?

- Préciser le mode conversion de ce convertisseur CAN (unipolaire, unipolaire translaté ou bipolaire) ainsi que la plage de tension sur laquelle le convertisseur à un fonctionnement linéaire.

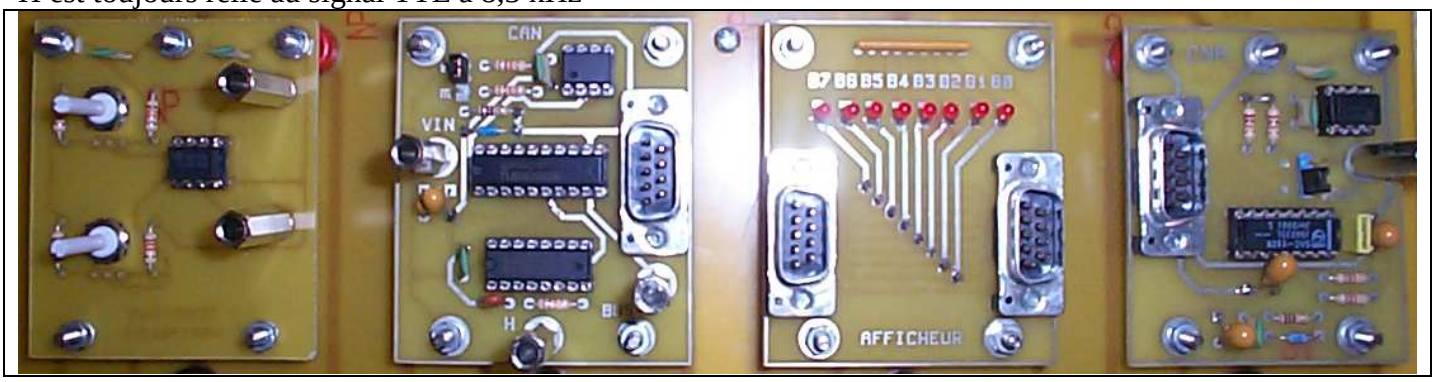


5.1.2 Etude dynamique du CAN

- Relever l'allure du signal de sortie BUSY (la durée à l'état haut spécifie le temps de conversion) et mesurer le temps, nécessaire à la conversion.

5.2 Chaîne de numérisation : CAN et CNA (Bipolaire)

Installer la maquette «CNA» Bipolaire (mode "B") à la sortie de la maquette "Afficheur". Relier les maquettes par une deuxième nappe DB9-DB9.
H est toujours relié au signal TTL à 8,3 kHz



5.2.1 Transmission du signal continu

Vérifier que vous retrouvez bien en sortie du CNA, la tension continue fournie par la maquette "tension continue".

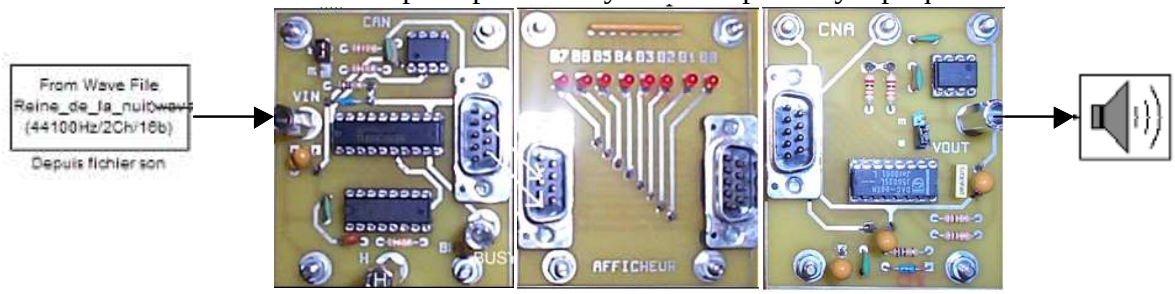
5.2.2 Transmission d'un signal sinusoïdal

Retirer la maquette "Tension continue" et appliquer à l'entrée V_{IN} du « CAN » un signal sinusoïdal de fréquence 440 Hz et d'amplitude 2V (4VPP).

- Relever simultanément les deux signaux VIN et VOUT.
- Comment définir le signal VOUT ?

5.2.3 Transmission d'un signal sonore

Revenir à la fréquence d'échantillonnage de 8.3 kHz.
On remplace le signal sinusoïdal d'entrée V_{IN} par un signal sonore issu du PC.
La chaîne de numérisation complète peut être symbolisée par le synoptique suivant.



A l'aide du logiciel de diffusion de fichiers son, lire par exemple le fichier son « Reine_de_la_nuit.wav ».
Faire une écoute du signal sonore, à l'aide d'un casque, directement sur le signal VIN.

- Réécouter le morceau en sortie de chaîne après numérisation V_{OUT} (A travers une capacité de 2,2 µF pour couper le continu). Que pensez-vous de la qualité du signal ? Proposer une solution pour améliorer la qualité du signal restitué.

Ne pas décâbler cette chaîne de numérisation

5.3 Influence du bruit – Mesure du rapport signal sur bruit

5.3.1 Mesure de la puissance du signal

Générer un signal triangulaire de fréquence 440 Hz et d'amplitude 2V crête à crête).
Vérifier son amplitude sur l'oscilloscope.
L'oscilloscope permet de mesurer sa valeur efficace (ou RMS : Root Mean Square).
Quelques précautions à prendre pour mesurer la valeur efficace :

- ✓ Régler la vitesse de balayage pour avoir une dizaine d'alternances sur l'écran
- ✓ Vérifier toujours qu'il n'y ait pas de saturation de la trace sur l'oscilloscope (il ne doit sortir ni en haut ni en bas de l'écran)
- ✓ Sélectionner la mesure RMS et activer CURSOR LIMIT&STATIS du menu MEASURE afin de disposer des valeurs MIN, MOY et MAX de la mesure.

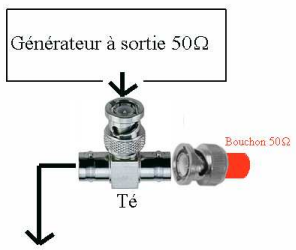
- Lire la valeur efficace moyenne du signal.
- En déduire sa puissance normalisée $P_S = V_{EFF}^2$.

5.3.2 Mesure de la puissance de bruit

Le générateur HP33120A est un générateur de bruit.
Pour générer un bruit de puissance PB_{dBm} = 0dBm, suivre la procédure suivante :

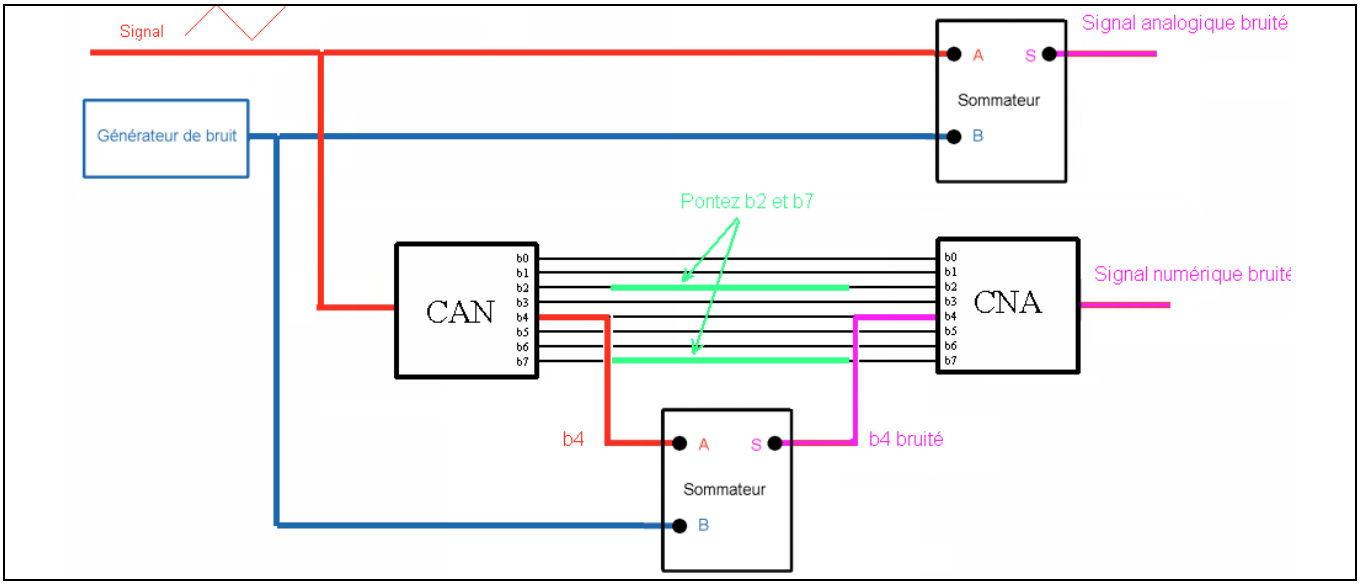
- ✓ Activer le bouton NOISE
- ✓ Activer le bouton « Ampl »
- ✓ Activer le bouton "Enter Number"
- ✓ Activer "0" puis la flèche ">" repérée dBm

Puisque cette consigne suppose que le générateur soit adaptée en sortie (donc chargé par 50 Ω) il faut insérer en sortie du générateur un Té avec une charge de 50Ω sur une branche afin de l'adapter .
Visualiser le bruit sur l'oscilloscope en le reliant à l'autre branche du Té.
Régler la sensibilité pour que le bruit s'affiche sur 2-4 carreaux avec une vitesse de balayage de 5 ms.
Pour mesurer la puissance normalisée de bruit, vous utiliserez la méthode présentée pour la mesure de la puissance du signal (V_{EFF} → P).



- Lire la valeur efficace moyenne du bruit.
- En déduire sa puissance normalisée $P_B = V_{EFF}^2$.
- Calculer le rapport signal sur bruit en dB

5.3.3 Comparaison de l'influence du bruit sur un signal analogique et un signal numérique.



a) Ajout du bruit au signal analogique

- ✓ Insérer une première carte « Sommateur »
- ✓ Appliquer le signal triangulaire (440 Hz – 2 VPP) sur l'entrée A
- ✓ Appliquer le bruit (0 dBm) sur l'entrée B
- ✓ La sortie S constitue alors le signal bruité
- ✓ Visualiser le signal bruité.
  Observer l'influence du bruit en augmentant sa puissance, en procédant ainsi :
  Faire en sorte que le digit qui clignote soit celui des unités (vous pouvez le sélectionner avec les flèches < ou >).
  Faire tourner le bouton rotatif : il doit changer la valeur de la puissance dBm par dBm.

- ✓ Revenir à une puissance de bruit de 0 dBm.
  Conserver le montage

a) Ajout du bruit au bit 4 du signal numérique

- ✓ Insérer une deuxième carte sommateur
- ✓ Reprenez la chaîne de numérisation. Appliquer aussi le signal (440 Hz – 2 VPP) sur l'entrée du CAN (**Fréquence d'échantillonnage de 84 kHz** – TTL)
- ✓ A l'aide de l'éclateur, appliquer le bit b4 (poids fort) sur l'entrée A du deuxième sommateur.
  Installer 2 ponts pour appliquer les bits 2 et 7 au CNA.
- ✓ Appliquer aussi le bruit (0 dBm) sur l'entrée B du deuxième sommateur.
- ✓ La sortie S du deuxième sommateur constitue alors le bit b4 bruité. Réinjectez-le sur le CNA.
- ✓ Visualiser le signal reconstitué en sortie du CNA.

- Relever simultanément le signal analogique bruité et le signal numérique bruité puis reconstitué par le CNA.
- Lequel est le plus dégradé et donc le moins résistant au bruit.
  Justifier.